



POLTTOAINEKULJETTIMIEN VAIHDEMOOTTOREIDEN MITOITUS

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Toni Immonen			
Työn nimi Polttoainekuljettimien vaihdemoottoreiden mitoitus			
Päiväys	10.5.2016	Sivumäärä/Liitteet	28/2
Ohjaaja(t) Ritva Käyhkö, Markku Kosunen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Fimecon Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tehtiin suunnittelu- ja konsultointitoimisto Fimecon Oy:lle. Työn tavoitteena oli tehdä Excel-pohjainen laskentaohjelma biolämpölaitosten polttoainekuljettimien vaihdemoottorien koon ja tehon mitoitukseen suunnittelun tueksi.</p> <p>Laskentaohjelman tulosten tulisi olla samansuuntaisia kuin mitä käytössä olevien kuljettimien tehon kulutuksesta saadaan tietoa. Luotettavalla käytönaikaiseen tietoon perustuvalla laskentaohjelmalla saadaan valittua asiakkaille kustannustehokkaat vaihteet sekä sähkömoottorit käytettävyyden kärsimättä.</p> <p>Laskentaohjelman tueksi kerättiin tietoa kahdelta biolämpölaitokselta. Tiedot analysoitiin ja muutettiin samaan muotoon kuin laskentaohjelmassa. Laskentaohjelman ja laitosten tiedoista saatuja tuloksia vertailtiin keskenään. Vertailulla saatiin laskentaohjelmasta tehtyä totuudenmukaisempi ja luotettavampi.</p>			
Avainsanat Polttoainekuljetin, kolakuljetin, vaihdemoottori, laskentaohjelma			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author Toni Immonen			
Title of Thesis Dimensioning of the Fuel Conveyors Gear Motors			
Date	10.5.2016	Pages/Appendices	28/2
Supervisor(s) Ritva Käyhkö, Markku Kosunen			
Client Organisation /Partners Fimecon Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was commissioned by the engineering and consulting office Fimecon Ltd. The aim was to make an excel-based calculation program for dimensioning the size and power of fuel conveyors gear motors at bio heating plants.</p> <p>The results of the calculation program should be consistent with information provided on the power consumption of the conveyors in use. Reliable spreadsheet program based on run time can be used for selecting a cost-effective gears and electric motors for the customers without compromising usability.</p> <p>To support the spreadsheet program information was collected from two bio heating plants. The data was analyzed and converted to the same format as in the spreadsheet program. The results of the spreadsheet and plants were compared with each other. As a result a more truthful and more reliable spreadsheet program was made.</p>			
Keywords Fuel conveyor, scraper conveyor, gear motor, spreadsheet			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	FIMECON OY.....	7
3	BIOLÄMPÖLAITOSTEN POLTTOAINEKULJETTIMET	7
3.1	Ruuvikuljetin.....	7
3.2	Hihnakuljetin	8
3.3	Kolakuljetin	9
3.3.1	Kolakuljettimen rakenne	11
3.4	Kolapurkain	12
3.5	Tankopurkain	12
3.6	Kiekkoseula	13
3.7	Murskain	14
4	VAIHDEMOOTTORIN VALINTA.....	15
4.1	Momentti.....	16
4.2	Nopeus ja teho	18
4.3	Käyttökerroin, käyttötapa ja hyötysuhdeluokat.....	18
4.4	Rakenne ja asennusasento	19
4.5	Ulkoiset voimat	20
4.6	Lisäominaisuudet	20
5	BIOLÄMPÖLAITOKSILTA SAATU TIETO	21
6	SAATUJEN TIETOJEN LASKENNALLISTEN TULOSTEN VERTAILU LASKENTAMALLEIHIN.....	22
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
	LÄHTEET	24
	LIITE 1: KAAVAT	26
	LIITE 2: DATA, LASKENTA JA VERTAILU	28

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Fimecon Oy:n suunnittelun, sekä heidän asiakkaidensa laitteiden kustannustehokkuuden parantamiseksi ja kehittämiseksi. Erityiskiitokset Fimecon Oy:n omistajille Jussi Mykrälle ja Aki Maaraselle mahdollisuudesta toteuttaa mielenkiintoinen projekti innovatiivisen ja ammattitaitoisen henkilöstön kanssa heidän yrityksessä. Suuret kiitokset myös suunnitteluinsinööri Jari Salolle työn aiheesta, ohjauksesta ja neuvoista, sekä yliopettaja Ritva Käyhkölle ja koko Fimeconin henkilökunnalle kaikista neuvoista, ohjeista ja innostavasta sekä mukavasta ilmapiiristä.

1 JOHDANTO

1-10 MW:n biolämpölaitoksia on Suomessa useita satoja ja niiden käyttämä polttoaine on pääosin kotimaista. Biolämpölaitosten valmistajia on monia ja näin ollen laitos- ja kattilatyyppejä on myös monenlaisia eri kokoluokissa. Biolämpölaitosten toimintaan liittyy monenlaisia kuljetinratkaisuja.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kahden eri biolämpölaitoksen polttoainekuljettimia. Tarkasteltavien laitosten kattilatehot ovat 8 MW.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkentaa ja kehittää biolämpölaitoksissa käytettävien polttoainekuljettimien tehon tarpeen mitoittamisessa käytettäviä laskentaohjelmia yhteistyössä Fimecon Oy:n kanssa.

Biolämpölaitoksissa tehtiin polttoainekuljettimien tehonkäytön tarkastelua, joista saatiin todelliset käytössä tarvittavat tehontarpeet. Saatujen tietojen tuloksia verrattiin laskentamalleihin ja havaittiin mahdolliset virheet sekä tarvittavat kehityskohdat laskentamalleissa.

Käyttäjiä haastatteleamalla saatiin tietoa kuljettimien toimivuudesta ja kehityskohteista. Talven kovat pakkasjaksot antavat suuret haasteet kuljettimien toiminnalle, etenkin ulos sijoitetut kuljettimet ovat alttiina jäätymiselle. Polttoaineen seassa oleva lumi ja kosteus, sekä lämpötilan vaihtelut aiheuttavat jäätymistä, mikä aiheuttaa etenkin kolakuljettimissa käynnistysongelmia.

Moottoreiden ja vaihteiden valintaan vaikuttaa suunnittelijan laskelmat ja arviot tarvittavasta tehon ja vääntömomentin tarpeesta. Tehon ja vääntömomentin todentaminen riittäväksi on helppo osoittaa toimivissa kuljettimissa, joissa ei ole käyntihäiriöitä. Vaikeampaa on määrittää ovatko kyseiset kuljettimien käytöt ylimitoitettuja ja kuinka paljon. Tämä vaatii käytön aikana tehtäviä mittauksia tai ainakin käytön ajalta saatavan datan suureiden tarkastelua.

2 FIMECON OY

Vuonna 2013 perustettu suunnittelu- ja konsultointipalveluihin erikoistunut Fimecon tarjoaa asiantuntijapalveluja teollisuuden toimijoille. Asiakkaina ovat teollisuuden kone- ja laitevalmistajat kuin myös tuotanto-, energia- ja prosessilaitoksetkin.

Fimeconin avainhenkilöillä on yli 20 vuoden kokemus teollisuussuunnittelusta. Fimeconin asiakkaille tarjoamat palvelut ovat mm. kone-, painelaite-, kunnossapitosuunnittelu, sekä CE-merkintöjen dokumentointi ja asiakasjärjestelmien kehittäminen.

Fimeconin toimipisteet sijaitsevat Varkaudessa ja Kuopiossa, mutta toiminta-alue on paljon laajempi. Fimeconilla on käytössä Autodesk ja SolidWorks suunnitteluohjelmistojen uusimmat versiot.

Henkilöstön määrä Fimeconilla on tällä hetkellä 8, mutta maltillinen kasvu on tavoitteena. Suunnittelutyötä tehdään molemmilla toimipaikoilla, mutta myös tarvittaessa asiakkaiden luona heidän tiloissa.

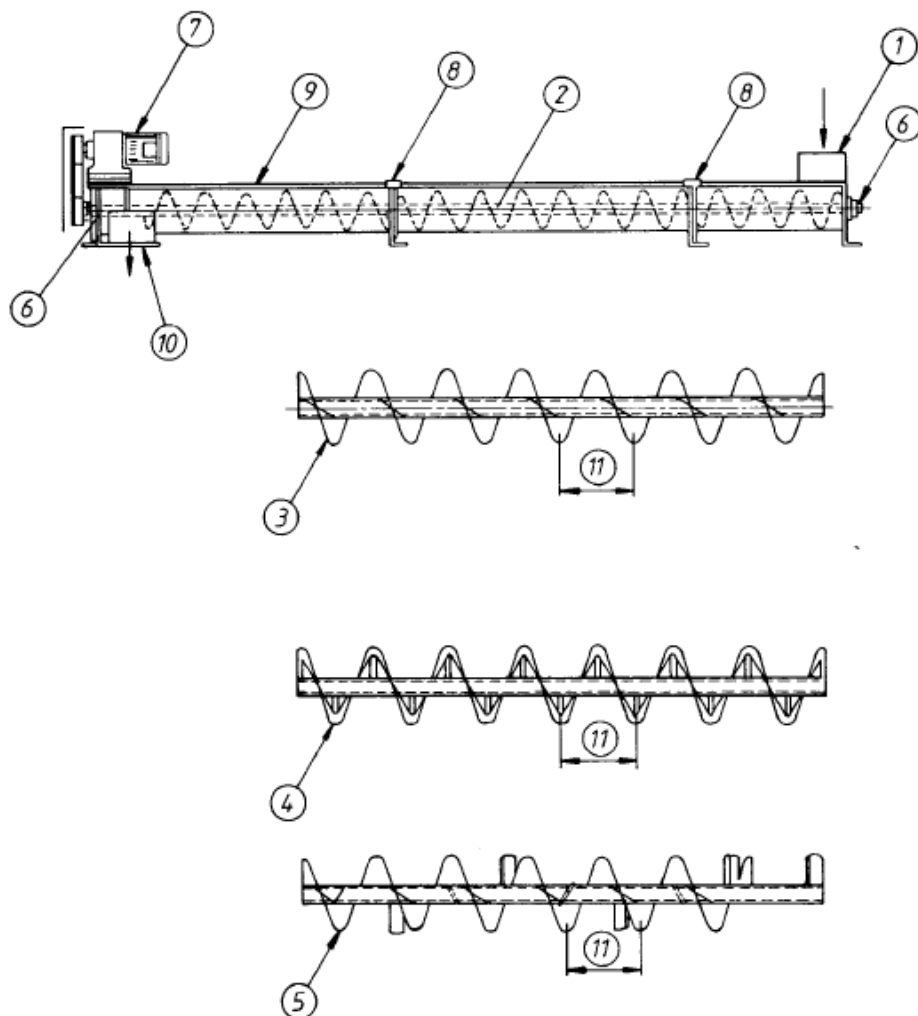
3 BIOLÄMPÖLAITOSTEN POLTTOAINEKULJETTIMET

Biolämpölaitoksissa käytettäviä yleisimpiä polttoainekuljettimia ovat ruuvi-, hihna- ja kolakuljettimet, sekä kola- ja tankopurkaimet. Kuljettimien ja purkaimien liityntäkohdissa voi olla erilaisia seuloja ja murskaimia, jotka seuloivat ja murskaavat polttoainevirrasta ylisuuret partikkelit pois ennen kuin polttoaine syötetään kattilaan. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13-14.)

Tämä opinnäytetyö on rajattu kolakuljettimien vaihdemoottorikäyttöjen mitoitukseen ja mittauksiin, sekä kolakuljettimien yleiseen tarkasteluun. Työssä käydään kuitenkin yleisimmät biolämpölaitoksissa käytettävät polttoainekuljettimet, seulat ja murskaimet pintapuolisesti läpi.

3.1 Ruuvikuljetin

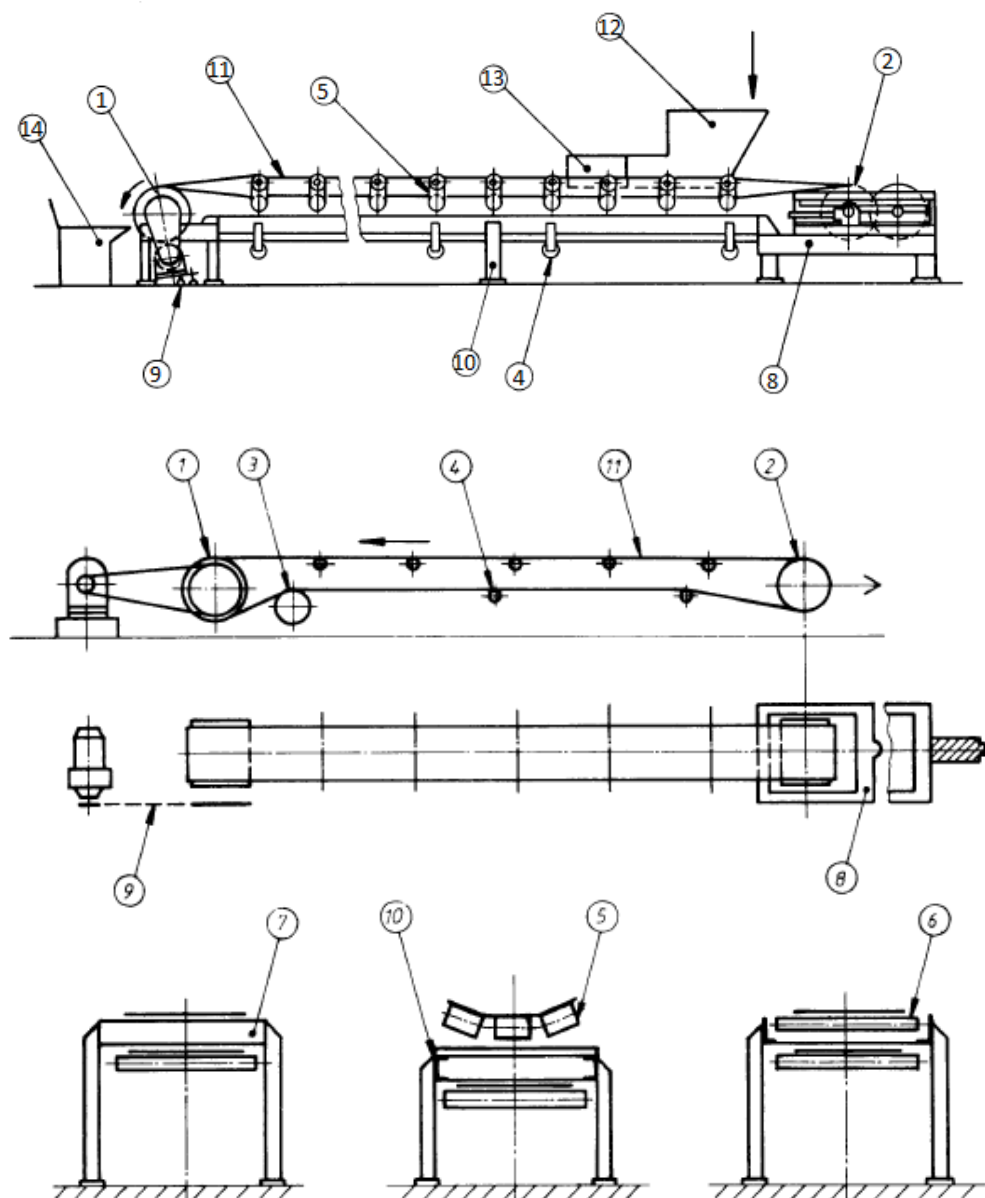
Ruuvikuljetin soveltuu sellaisiin kohteisiin, joissa tarvitaan pientä polttoaineen massavirtaa ja siirtomatkat ovat alle 10 metriä. Ruuvikuljetin tehontarve on suurempi kuin esimerkiksi kola- tai hihnakuljettimilla, mutta etuina ovat yksinkertainen rakenne, vähäinen tilantarve, pölytiiviys, säädettävyyden helppous sekä kahteen suuntaan ajettavuus. Kuvassa 1 on esitetty ruuvikuljetin rakenne sekä kierukkarakennevaihtoehtoja. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13-14.)



Kuva 1. Ruuvikuljettimen osia: 1. Syöttösuppilo, 2. Kuljetuskouru, 3. Täysikierukka, 4. Nauhakierukka, 5. Täysikierukka sekoituslavoin, 6. Päätylaakeri, 7. Käyttö, 8. Välilaakeri, 9. Kourun kansi, 10. Poistoaukko, 11. Nousu. (Kuljettimet, 29.)

3.2 Hihnakuuljetin

Hihnakuuljettimet ovat yleisimpiä suuremmissa biolämpölaitoksissa. Hihnakuuljettimen nousukulma ei voi olla kovin jyrkkä ja näin ollen hihnakuuljettimen pituus kasvaa, jos polttoainetta on tarve nostaa korkealle. Biolämpölaitoksissa käytetään yleensä koururullastoa hihnakuuljettimissa (Kuva 2). Kuvassa 2 on esitetty hihnakuuljettimen osia sekä hihnakuuljettimen rakenteen periaate.



Kuva 2. Hihnakuljettimen osia: 1. Vetorumpu, 2. Pääterumpu, 3. Taittorumpu, 4. Palautusrullastot, 5. Koururullastot, 6. Tasorullastot, 7. Liukualusta, 8. Kiristyslaite, 9. Käyttö, 10. Runko, 11. Hihna, 12 Syöttösuppilo, 13. Ohjainlevyt, 14. Purkusuiste. (Kuljettimet, 19, 43.)

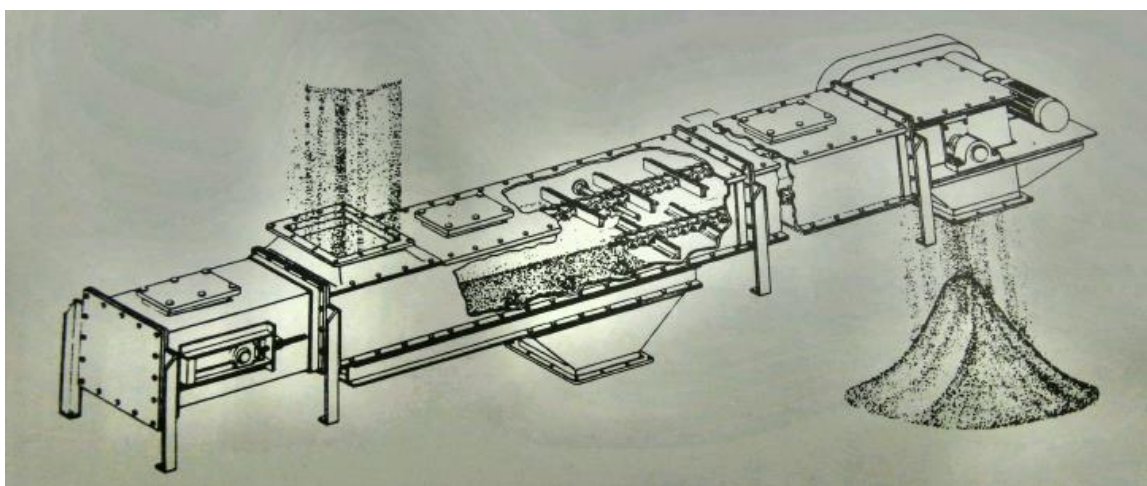
3.3 Kolakuljetin

Kolakuljettimet ovat ketjukuljettimia. Kolakuljettimissa yhteen tai useampaan rinnakkaiseen ketjuun liitetty kola tai raappa työntää edellään siirrettävää materiaalia. Ketju tai ketjut muodostavat katkeamattoman lenkin kahden taitto pisteen välille joita kutsutaan veto- ja taittopääksi. Kolakuljettimissa materiaalin siirto tapahtuu yhteen suuntaan joko alatasolla tai ylätasolla rakenteesta riippuen. (FAYED ja SKOCIR 1997, 304.)

Alemmalla tasolla materiaalivirtaa kuljettavaa kolakuljetinta kutsutaan alapohjakuljettimeksi ja vastaavasti ylemmällä tasolla materiaalivirtaa kuljettavaa kolakuljetinta yläpohjakuljettimeksi.

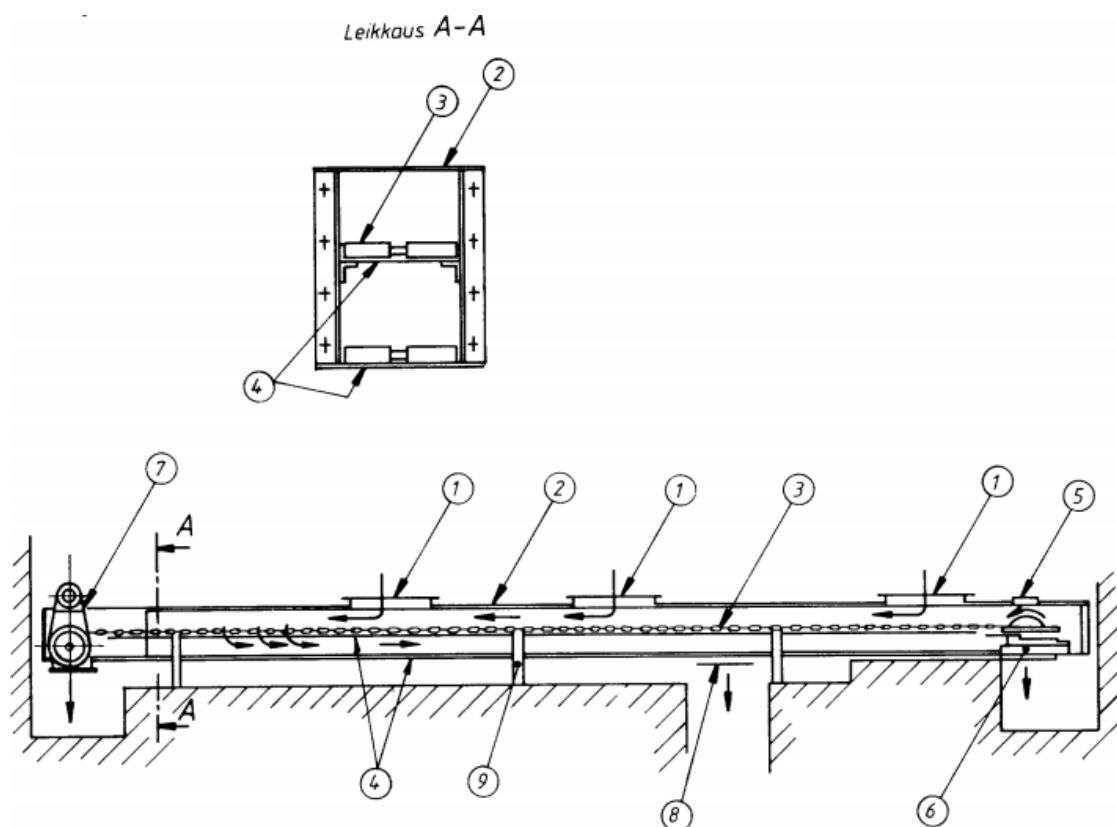
Kuljetettava materiaali voidaan syöttää kuljettimen yläpuolella olevasta yhdestä tai useammasta syöttöaukosta yläpohjakuljettimeen suoraan kuljetustasolle ja alapohjakuljettimeen samalla tavoin kuten yläpohjakuljettimeenkin, mutta tällöin materiaali putoaa ylemmän kolaketjun kolien välistä alhaalla olevalle kuljetustasolle. Alapohjakuljettimeen voidaan myös syöttää kuljetettava materiaali sivulla olevasta yhdestä tai useammasta syöttöaukosta ylä- ja alakolaketjun väliin suoraan kuljetustasolle. (KIRJAVAINEN, LAHDENPERÄ JA RAUTALIN 1983, 54)

Kolakuljettimissa syöttöaukko on sijoitettu veto- ja taittopään välille (Kuva 3). Purkuaukkoja voi olla yksi tai useampia. Purkuaukko on yleensä sijoitettu vetopäähän vetoakselin alapuolelle, mutta myös välillä voi olla purkuaukkoja tarpeen mukaan.



Kuva 3. Yhdellä ketjulla toteutettu alapohjakolakuljetin. (FAYED ja SKOCIR 1997, 306.)

Kolakuljettimen nousukulma voi olla jopa 45 astetta. Nousukulman jyrkkyys ja pölytiivis rakenne ovat etuja verrattaessa esimerkiksi hihnakuljettimeen. Myös hyvää paloturvallisuutta sekä helppoa kuormausta ja purkuominaisuuksia eri kohdista voidaan pitää etuina. Kolakuljettimen suurempi tehon tarve sekä hinta ovat haittoja hihnakuljettimeen verrattaessa, kuluminen on myös voimakasta suurilla nopeuksilla, mutta oikeilla rakennemateriaaleilla kulumista voidaan vähentää. Kuvassa 4 on esitetty kolakuljettimen rakenne ja osat. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13.)



Kuva 4. Kolakuljettimen osat: 1. Syöttöaukot, 2. Suljettu kouru, 3. Kolaketju, 4. Pohjalevy, 5. Kiristyslaite, 6. Purkuaukko, 7. Käyttö, 8. Välipurkuaukko, 9. Tuet. (Kuljettimet, 27.)

3.3.1 Kolakuljettimen rakenne

Kuljetinketjutyyppejä on useita erilaisia valmistajasta ja kohteesta riippuen. Ketjun liitostapit voivat olla esimerkiksi niitattavia, puristussovitteisia tai hitsattavia ketjun koosta ja rakenteesta riippuen. Kola liitetään kuljetinketjuun joko hitsaamalla tai pulttiliitoksella ketjurakenteesta riippuen. (Lapua-ketjut verkkosivut.)

Kolakuljettimen runkorakenteet vaihtelevat valmistajien ja kohteiden mukaan. Runkorakennemateriaali voi olla esimerkiksi taivutettua teräslevyä, U-palkkia tai betonia. (FAYED ja SKOCIR 1997, 301 ja 308.)

Pohjalevyn materiaali voi olla samaa kuin runkorakenne, tai esimerkiksi erikoisterästä tai muovia. Muovia käytetään biolämpölaitosten polttoainetta kuljettavissa kolakuljettimissa pohjalevynä useasti alhaisen kitkan ja kulumisominaisuuksien vuoksi. (FAYED ja SKOCIR 1997, 308)

Biolämpölaitoksissa polttoainetta kuljettavat kolakuljettimet ovat yleensä rakenteeltaan pölytiivitä. Turvallisuusstandardi määrittelee pölytiiviseen rakenteeseen räjähdysluukut tietyin välimatkoin. Räjähdysluukussa on tietynlainen kalvorakenne, joka repeää ja purkaa paineen luukusta ulos, jos pölyräjähdys tapahtuu. (Rembe verkkosivut.)

3.4 Kolapurkain

Biolämpölaitoksissa kolapurkaimet ovat yleensä polttoainevarastoissa käytettävät kolapohjapurkaimet. Kolapohjapurkaimissa purkain siirtää koko polttoainepatjaa eteenpäin seuraavalle kuljettimelle. Kolapohjapurkaimella varasto saadaan ajettua tyhjäksi tarvittaessa. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13.)

Kolapurkaimen käytöstä tulevat voimat eivät kohdistu perustuksiin, vaan ne kohdistuvat laitteen sisäisiin rakenteisiin. Kolapurkaimen rakenne on samantyyppinen kuin kolakuljettimen. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13.)

3.5 Tankopurkain

Biolämpölaitoksissa tankopurkaimia käytetään polttoainevarastojen pohjalla siirtämään polttoaine seuraavalle kuljettimelle. Tankopurkaimilla polttoainevarastoa ei saada tyhjenemään kokonaan, vaan tuleva polttoaine ajetaan varastossa olevan polttoaineen päälle. Tankopurkain vaatii vahvan perustuksen ja rakenteen, koska käytöstä tulevat voimat kohdistuvat suurelta osin juuri niihin. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13.)

Tankopurkaimissa hydraulisylinterillä liikuteltavat kolat liikkuvat edestakaisin ja työntävät edellään siirrettävää polttoainetta. Yksinkertaisimmillaan kolan muoto on materiaalin siirtosuuntaan pystysuorassa varaston pohjaan nähden ja toiseen suuntaan muoto on viisto, jolloin kolan on helpompi liikkua takaisin ja se ei pysty liikuttamaan materiaalia takaisin tulosuuntaan (Kuva 5). Kolan muotoja ja rakenteita on monia erilaisia.

Suuremmissa polttoainevarastoissa kolayksiköitä on useampia rinnakkain (Kuva 5), silloin vierekkäiset yksiköt voivat liikkua eri aikoihin siirtäessään polttoainetta eteenpäin. (Ympäristöministeriön raportti 2012, 13.)



Kuva 5. Tankopurkain, jossa kaksi yksikköä. (Mionmosole verkkosivut.)

3.6 Kiekkoseula

Kiekkoseula on yleensä sijoitettu esimerkiksi kahden kolakuljettimen liittymäkohtaan. Varastosta seulaan siirtävän kolakuljettimen ja seualta kattilalaitokseen siirtävän kolakuljettimen väliin sijoitettu kiekkoseula on tyypillinen seularatkaisu monessa biolämpölaitoksessa.

Kiekkoseulan rakenne muodostuu pyöriviin akseleihin kiinnitetyistä noin 5-10 millimetrin paksuisista teräslevykiekoista. Kiekkojen muoto voi olla pyöreä, kantikas tai jotenkin hammastettu käyttökohteesta riippuen.

Kiekkojen halkaisija ja kiinnitysväli sekä akseleiden etäisyys toisistaan määrää seulan erottelukyvyn (Kuva 6). Kiekkoseula erottelee ylisuuret partikkelit pois polttoaineen seasta ja siirtää ylitteen joko murskaimelle tai ylitevarastoon, jossa voi olla siirtolava, johon ylite tipahtaa.



Kuva 6. Kiekkoseula. (Seimec verkkosivut.)

3.7 Murskain

Murskain on yleensä sijoitettu kiekkoseulan yhteyteen murskaamaan seualta tuleva ylite. Kuvassa 7 on esitetty pyörivillä hammastetuilla kiekkoilla/terillä toteutettu murskainratkaisu. Kiekot on kiinnitetty akseliin tietyin välein ja terähampaat on porrastettu kehälle niin, että ylite sopii putoamaan hampaan pohjalle ja näin ollen murskautuu reunan ja hampaan välissä. Akseli saa voimansa vaihdemoottorista. Murskainratkaisut toteutetaan tapauskohtaisesti.



Kuva 7. Murskain. (Seimec verkkosivut.)

4 VAIHDEMOOTTORIN VALINTA

Liikkeen saamiseen kolakuljetin vaatii vääntömomenttia ja tehoa. Vaihdemoottorissa sähkömoottori muodostaa tietyn vääntömomentin ja pyörimisnopeuden, jotka muutetaan käyttökohteelle sopiviksi vaihteessa.



Kuva 8. Kuvassa vaihdemoottori. (Nord verkkosivut)

Moottori- ja vaihdevalinta uusiin laitteisiin tehdään pääsääntöisesti pakettiratkaisuna eli vaihdemoottoripakettina (Kuva 8). Valintatietoina tarvitaan tarvittava vääntömomentti, toisioakselin pyörimisnopeus ja tarvittava teho, sekä edellä vaihteen ja moottorin valintaan mainittuja tekijöitä tapauskohtaisesti.

Vaihteen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat tarvittava momentti ja nopeus, sekä käyttötapa, rakenne, asennusasento, käyttöympäristön olosuhteet, ulkoisesti vaikuttavat voimat, lisäominaisuudet ja turvallisuusvaatimukset.

Moottorin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat kaikki edellä mainitut, sekä käyntinopeus ja sen säädettävyys ja tarvittavat liityntätarpeet. Uusiin kolakuljettimiin valittavat moottorit ovat pääsääntöisesti taajuusmuuttajakäyttöisiä, jolloin säädettävyys paranee verrattuna suoraan verkosta kytkettävään moottoriin (Kuvat 9-11).

Taajuusmuuttajalla saadaan esimerkiksi pehmennettyä käynnistystä, säädettyä nopeutta, tehoa ja vääntömomenttia. Taajuusmuuttajakäytöllä moottorista saatava nimellisvääntömomentti on käytettävissä moottorin nimellinopeuteen saakka. Jos nopeutta nostetaan yli nimellinopeuden, vääntömomentti putoaa (Kuvat 10 ja 11). Taajuusmuuttajalla saadaan hetkellisesti käytettyä ylikuormitusmomenttia, jolla saadaan normaalia suurempi kuorma liikkeelle esimerkiksi käynnistystilanteessa.

Kolakuljettimen suunnittelijan tehtäviin vaihdemoottorin valinnassa kuuluu laskea tarvittava momentti, nopeus ja teho, joiden perusteella pääsee tekemään tuoteluettelosta tai mahdollisesta valintaohjelmasta valinnan. Momentin, nopeuden ja tehon lisäksi täytyy myös käyttökerroin ottaa huomioon.

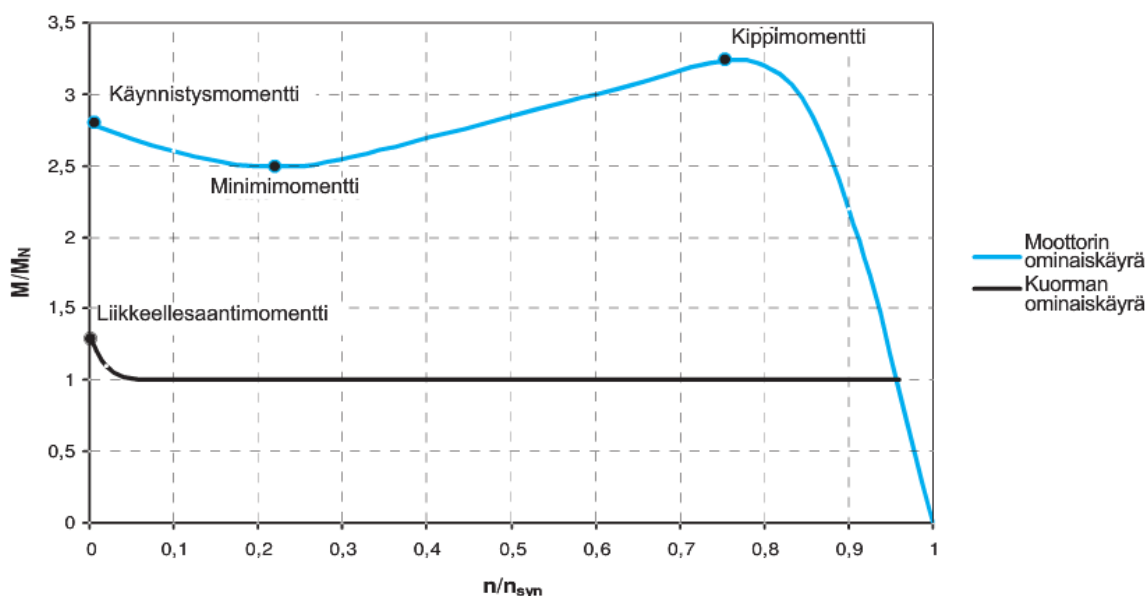
Kokenut suunnittelija pystyy valitsemaan edellä mainituilla tiedoilla sopivan vaihdemoottorin, mutta jos ei ole täysin varma valintaperusteista on syytä tehdä valinta yhteistyössä vaihdemoottoritoimittajan kanssa. Valinnan voi myös jättää toimittajalle, joka tekee valinnan annetuilla tiedoilla.

Tässä työssä esitetyt valintamääritykset pohjautuvat suurelta osin Nordin tuoteluettelon, Vem-verkkosivujen sekä Fimeconin suunnittelijoilta saatuihin tietoihin.

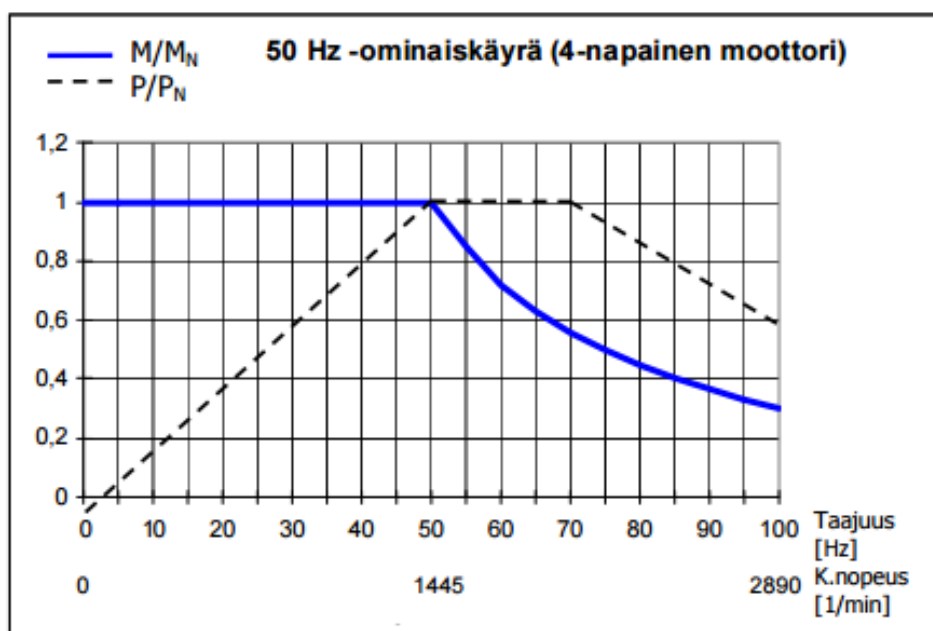
4.1 Momentti

Kolakuljettimen toimintaan tarvittavan momentin määrittämiseen tarvitaan lähtötietoina kolaketjun massa, kuljettimen pituus, kuljettimen leveys, kuljettimen nousukulma, polttoainepatjan korkeus, polttoaineen tilavuusmassa ja ketjupyörän jakohalkaisija.

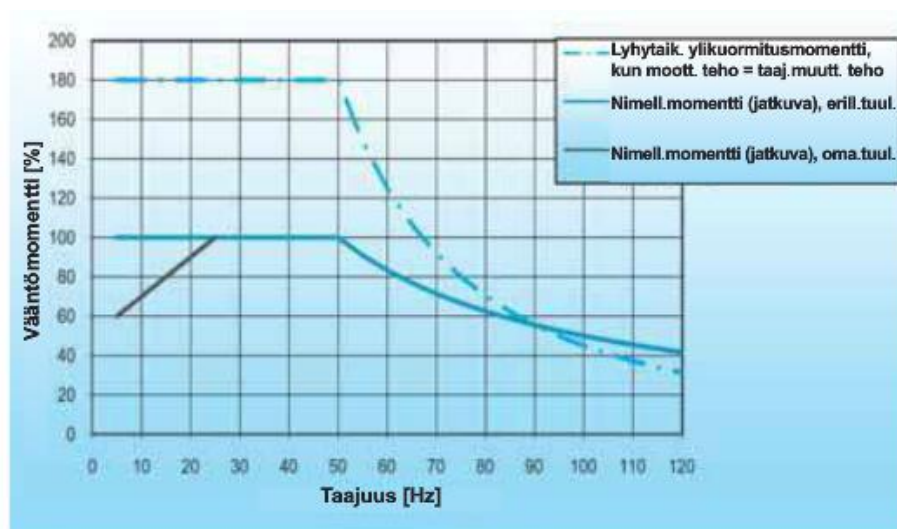
Kuvissa 9-11 on esitetty verkosta suoraan kytkettävän sähkömoottorin momenttikäyriä suhteessa nopeuteen, sekä taajuusmuuttajakäyttöisen momentti- ja tehokäyriä suhteessa taajuuteen eli nopeuteen.



Kuva 9. Suoraan verkosta käynnistettävän moottorin ominaiskäyrät. (Nord M7000 moottorit, A21.)



Kuva 10. Taajuusmuuttaja käyttöisen moottorin momentti (M/M_N) ja teho (P/P_N) ominaiskäyrät. (NORDAC trio SK 300E, 132.)



Kuva 11. Taajuusmuuttaja käyttöisen moottorin kuormitus 50 Hz-ominaiskäyrällä. (Nord M7000 moottorit, A24.)

Dynaamiseen momenttiin vaikuttavia tekijöitä ovat moottorin oma pyörivä massa (roottori) ja kuorman kiihdytettävä massa (kolakuljettimen kolaketju ja siirrettävä materiaali), joita kutsutaan hui-mamassaksi. (Nord M7000 moottorit, A20.)

Moottorin pyörivälle massalle sekä kuorman suoraviivaisessa liikkeessä olevalle massalle on molemmille omat kaavansa, joista yhteenlaskettuna saadaan dynaaminen massahitausmomentti. Laskennassa dynaaminen massahitausmomentti voidaan korvata korjauskertoimella, joka antaa riittävän tarkan tuloksen tässä työssä.

Koneen käyttämiseen vakiokuormalla ja vakiokäyntinopeudella tarvitaan tietty vääntömomentti, jota kutsutaan staattiseksi momentiksi. Staattisen momentin laskenta määräytyy konetyypin mukaan huomioiden hyötysuhteen, kitkan, taakan, nousukulman yms. Staattinen vääntömomentti saadaan, kun pyörimistä vastustavat voimat kerrotaan ketjupyörän jakohalkaisijalla.
(Nord M7000 moottorit, A20.)

Kokonaisvääntömomentti saadaan laskemalla dynaaminen ja staattinen momentti yhteen. Tarvittava kokonaisvääntömomentti kertoo, minkä vääntömomentin laite vähintään tarvitsee toimiakseen tietyllä kuormalla ja saavuttaakseen tietyn nopeuden tietyssä ajassa. Kaavat on esitetty liitteessä 1 ja laskenta liitteessä 2. (Nord M7000 moottorit, A20.)

4.2 Nopeus ja teho

Vaihdemoottorin toisionopeuden määrittämiseen biolämpölaitokselle kolakuljetinkäyttöön tarvitaan lämpölaitoksen teho, hyötysuhde ja polttoaineen ominaisuuksia, kolakuljettimen kolan leveys ja korkeus, sekä nousukulman jyrkkyys. (VAIHDEMOOTTORIEN VALINTATAULUKKO.)

Lämpölaitoksen teho, hyötysuhde sekä polttoaineen ominaisuudet määräävät polttoainetarpeen, joka saadaan jakamalla teho hyötysuhteella ja kertomalla siitä saatu osamäärä polttoaineen energiatihedellä. Energiatiheys vaihtelee eri polttoainelaaduilla. Polttoaineen kosteuspitoisuus vaikuttaa suurelta osin polttoaineesta saatavaan tehoon.

Kolakuljettimen tarvittava kuljetusnopeus saadaan määritettyä polttoainetarpeesta irtokuutiometreinä, kolan leveydestä ja polttoainepatjan korkeudesta, sekä mahdollisesta kolakuljettimen nousukulmasta. Jos kolakuljettimen nousukulma on yli 10 astetta, kuljetuskyky pienenee ja näin ollen nopeutta on lisättävä, jotta säilytetään sama kapasiteetti, mikäli kolakuljettimen leveys ja kolan korkeus, sekä kolien määrä pidetään ennallaan.

Tarvittava nopeus saadaan jakamalla polttoainepatjan tilavuus metrin matkalla tarvittavalla polttoainemäärällä ja niiden osamäärä käytetyllä ajalla. Sähkömoottorin tarvittava teho saadaan määritettyä vääntömomentin, kolakuljettimen pyörimisnopeuden ja vaihteen hyötysuhteen perusteella, jotka sijoitetaan valmiiseen kaavaan. Kaavat on esitetty liitteessä 1 ja laskenta liitteessä 2.

4.3 Käyttökerroin, käyttötapa ja hyötysuhdeluokat

Käyttökerroin määritellään vaihteelle kuormituksen, käynnistysten ja ympäristön olosuhteiden mukaan. Kolakuljetinkäytöissä käyttökerroin on tyypillisesti määritetty 1,2:sta ylöspäin. Jos määrittely tehdään pienemmäksi, on syytä neuvotella vaihdetoimittajan kanssa, ettei se vaikuta takuuseen. Käyttökertoimen numeroarvo kuvaa kestoikää siten, että mitä suurempi on numeroarvo, sitä pidempi on kestoikä. (SUUNNITTELUOHJEET.)

Sähkömoottorin käyttötavan määrittely on parempi tehdä moottorin toimittajan kanssa yhteistyössä tai antaa kokonaan moottorin toimittajan vastuulle. Moottoritoimittajalle annetaan tiedot käyttökohteesta, joka tässä tapauksessa on kolakuljetin. Käyttötavan määrittämiseen tarvittavia tietoja ovat tehontarve, nopeus, kuormitus-aika sekä lepoaika. Jos suunnittelijalla on varma tieto tai riittävä ammattitaito, voi hänkin määritellä käyttötavan ja näin jouduttaa työtä.

Käyttötapa merkitään moottorin tyyppikilpeen merkinnöillä S1,S2... S10. Käyttötapojen merkinnät listattuna IEC 60034-1 standardin mukaan: (ROTATING ELECTRICAL MACHINES – PART 1, 27-49.)

S1 Jatkuva käyttö

S2 Lyhytaikainen käyttö

S3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö

S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö

S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö

S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

S9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla

Standardi IEC 60034-30 luokittelee sähkömoottorien hyötysuhdeluokat. Hyötysuhdeluokat merkitään seuraavasti: IE1, IE2, IE3 ja IE4. Hyötysuhde kasvaa mitä suurempi luku on kirjaimien jäljessä. (Nord M7000 moottorit, A2.)

4.4 Rakenne ja asennusasento

Vaihdemoottorin toimittajalle annetaan tiedot tarvittavasta vääntömomentista ja nopeudesta, sekä asennusasennosta, käyttöolosuhteista ja tarvittavista liitännöistä. Jos asennuspaikka on ahdas, on syytä ilmoittaa tilan mitat, johon vaihdemoottorin on sovittava. Vaihdemoottorin toimittaja valitsee sopivan rakenteen valikoimistaan. Jos suunnittelijalla on käytössään vaihdemoottoritoimittajan kuvastoja tai valintataulukkoita, joista ilmenee tarvittavat tiedot, voi kokenut suunnittelija tehdä valinnan itse ja näin nopeuttaa valintaa. (SUUNNITTELUOHJEET.)

Vaihdemoottorin rakenne ja ulkoiset mitat määräytyvät osin tarvittavista momentista ja nopeudesta. Myös vaihdetyypillä ja käyttökertoimella on merkitystä. Eri valmistajilla vaihteen rakenteet voivat vaihdella. Sähkömoottorin rakennemuodot ja asennusasennot ja kuinka ne merkitään, määritellään standardissa IEC 60034-7.

4.5 Ulkoiset voimat

Ulkoisia voimia voidaan katsoa olevan sellaiset vaihteen toisioakseliin vaikuttavat voimat, jotka vaikuttavat akselin suuntaisesti pitkittäin ja poikittain. Tällainen on esimerkiksi kolakuljettimissa kola-ketjusta ja materiaalivirrasta aiheutuva paino, joka toisioakselin on kestävä. Muita ulkoisia voimia ovat kiinnityskohtaan ja mahdolliseen lisätukeen kohdistuvat voimat, jotka kolakuljettimen rakenteen on kestävä.

4.6 Lisäominaisuudet

Sähkömoottoriin on saatavilla lukuisia erilaisia lisäominaisuuksia valmistajista riippuen. Vaihdemoottorin valinnassa on syytä miettiä tarvittavat lisäominaisuudet ennen kuin tehdään lopullinen päätös valinnasta ja tilauksesta, koska jälkikäteen tehtävät muutokset ominaisuuksiin eivät aina ole mahdollisia tai ainakin maksavat paljon enemmän kuin etukäteen pyydyt ominaisuudet.

Lisäominaisuuksia voi tulla jo edellä mainittujen ominaisuuksien tarpeista, kuten rakenteen, asennusasennon, käyttöympäristön tai ulkoisen voiman tuomasta tarpeesta. Muita huomioitavia lisäominaisuuksia ovat mm. liityntä, lämmitys, jäähdytys, suojaus ja erilaiset pulssianturit, sekä jarrutoiminnot.

Käyttöympäristön olosuhteet on ilmoitettava vaihdemoottorin toimittajalle, joka valitsee sopivan vaihtoehdon. Käyttöympäristön olosuhteita eriteltyinä ovat mm. lämpötila, kosteus, pölyn määrä, liikkaisuus ja ulko- tai sisäkäyttö.

Erityis- ja turvallisuusvaatimukset on syytä määritellä vaihdemoottoritoimittajan kanssa yhteistyössä. ATEX-direktiiveissä käsitellään ja määritellään räjähdysvaatimukset tiloille, laitteille ja lämpötiloille.

5 BIOLÄMPÖLAITOKSILTA SAATU TIETO

Biolämpölaitokset, joista tietoa kerättiin, ovat kattilateholtaan 8 MW. Kattilat laitoksilla ovat saman valmistajan tekemiä ja ne ovat lähes samanlaisia.

Polttoainekuljettimina toimivia kolakuljettimia on molemmilla laitoksilla kaksi kappaletta eli yhteensä neljä. Kyseiset kuljettimet eroavat toisistaan jonkin verran esimerkiksi leveyden, pohjalevyn materiaalin, pituuden, nousukorkeuden ja moottorivaihteiden osalta.

Kolakuljettimien moottorit ovat taajuusmuuttaja käyttöisiä molemmilla laitoksilla, mutta ne ovat eri valmistajan tekemiä. Toisella laitoksella Vaconin ja toisella ABB:n taajuusmuuttajat. Moottorivaihteet kolakuljettimissa ovat molemmilla laitoksilla samalta toimittajalta, joka tässä tapauksessa on Nord.

Kolakuljettimien moottorien ja vaihteiden tyyppikilvistä saatiin moottorien tehot sekä vaihteiden välitykset, tyyppikilvistä otettiin myös muut tiedot talteen.

Laitoksilta saatiin tietoina kolakuljettimien moottoreiden ottamat virta-arvot, sekä käyntiajat ja nopeudet pylväsdiagrammeina tietyiltä ajanjaksoilta taaksepäin. Näistä saatiin laskettua esimerkiksi se millä kapasiteetilla kolakuljettimia käytetään ajettaessa kattilaa täydellä teholla.

Laitoskäynneillä saatiin kerättyä tietoa lukemalla taajuusmuuttajien näytöiltä suoraan hetkellisiä teho- ja vääntömomenttitietoja. Toisen valmistajan taajuusmuuttajan näytöstä saatiin teho luettua suoraan kilowatteina, kun taas toisen valmistajan lukema näytössä oli prosentteina. Vääntömomenttilukema oli molempien valmistajien laitteissa prosentteina. Pyörimisnopeudet luettiin myös taajuusmuuttajista suoraan. Luentahetkillä laitosten kattilateho oli noin 65 % täydestä tehosta.

Edellä mainituilla tiedoilla päästiin laskemaan, paljonko voimaa käytettiin kolakuljettimien käyttöön tarkasteluhetkillä.

6 SAATUJEN TIETOJEN LASKENNALLISTEN TULOSTEN VERTAILU LASKENTAMALLEIHIN

Saatujen tietojen analysoinnin jälkeen laskettiin ja muutettiin tiedot samaan muotoon kuin ne ovat laskentamalleissa. Laskentamalleihin syötettiin biolämpölaitosten tehot sekä polttoainekoostumukset, niiltä hetkiltä joilta tiedot on kerätty.

Vanhan laskentamallin tuloksia ei ryhdytty vertailemaan tarkemmin laitoksilta saatuihin laskennallisiin tuloksiin, eikä myöskään uuteen laskentamalliin, koska tarkoituksena on ottaa uusi laskentamalli käyttöön.

Uuden laskentamallin tuloksia vertailtiin laitoksilta saatuihin laskennallisiin tuloksiin. Tuloksia vertailemalla havaittiin erot tuloksissa ja mahdolliset virheet laskentamallissa. Korjauskertoimia muuttamalla pyrittiin saamaan laskentamallista mahdollisimman tarkka ja totuudenmukainen.

Uuden laskentamallin antamissa tuloksissa on pieniä poikkeamia, kun niitä vertaillaan kaikista neljästä kolakuljettimesta saatuihin laskennallisiin tietoihin.

Uusi laskentamalli perustuu useista eri lähteistä, sekä Fimeconin suunnittelijoilta saatuihin tietoihin. Laskentamalli ja laitoksilta saadut tiedot löytyvät liitteestä 2.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tehtyä suunnittelun tueksi laskentaohjelma, jolla saataisiin käytännönläheisempiä tuloksia voimista ja tehoista, joita kolakuljettimet tarvitsevat toimiakseen. Laskentaohjelma saatiin tehtyä ja se löytyy liitteestä 2.

Laskentaohjelma antaa pääosin hieman suurempia tuloksia tehon ja vääntömomentin tarpeista, kun niitä vertahtiin laitoksilta saatujen tietojen pohjalta laskettuihin tuloksiin. Yhdeltä kuljettimelta saadut tulokset ovat lähes samanlaisia, kuin laskentaohjelman tulokset. Kyseisen kuljettimen nousukulma on pienempi kuin muissa kuljettimissa.

Laitoksilta saatujen tietojen ja uuden laskentaohjelman tulosten perusteella voidaan todeta, että vaihdemoottorien tehoissa ja pyörimisnopeuksissa olisi varaa pudota jonkin verran, mutta vääntömomenteissa ei ole varaa kovin suuriin muutoksiin alaspäin.

Uusien samankaltaisten kolakuljettimien vaihdemoottorien tehoja voitaisiin pudottaa ja samalla vaihteen suhdelukua kasvattaa, jotta vääntömomentti pysyisi jokseenkin samana. Nopeutta olisi varaa pudottaa eniten, jolloin vaihteen vääntömomentti suhteessa moottorikokoon kasvaa ja tällä muutoksella moottoritehoa voidaan laskea.

Vaihteen kokoa voi pystyä joissain tapauksissa pienentämään, mutta pääsääntöisesti sähkömoottorin tehon pienentäminen on todennäköisempää.

Kolakuljettimen kiinnijäätymisen ennaltaehkäisyssä päädyttiin sellaiseen johtopäätökseen, että jo olemassa olevat pohjalämmittimet ovat toimivia. Jos kiinnijäätymistä kuitenkin tapahtuu, ja kolakuljettimien nopeuksia pudotetaan edellä mainituilla ehdotuksilla, kuljettimet voisivat pyöriä kovilla pakkasilla koko ajan ja näin ennaltaehkäistä kiinni jäätymistä.

Liitteessä 2 on laskentaohjelma, sekä vertailutulokset, mutta liite 2 on poistettu julkisesta osiosta luottamuksellisten tietojen takia.

LÄHTEET

FAYED, Muhammed E ja SKOCIR, Thomas S. 1997. Mechanical Conveyors. Lancaster Pennsylvania USA. Technomic Publishing Company, Inc.

KIRJAVAINEN, Raimo, LAHDENPERÄ, Tuomo ja RAUTALIN, Aimo 1983. Hakkeen ja palaturpeen vastaanotto-, varastointi- ja kuljetinlaitteiden suunnitteluperusteet. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto, Suomen itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto, SITRA.

KULJETTIMET. Luokittelu ja sanasto. SFS 4200. Vahvistettu 1978-11-01. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Lapua-ketjut verkkosivut. [Haettu 2016-03-30]. Saatavissa: <http://www.lapua-ketjut.fi/>

Mionmosole verkkosivut. [Haettu 2016-02-22]. Saatavissa: <http://www.mionmosole.it/fr/prodotti/estrattori-moving-floor/>

M7000 moottorit. Nord tuoteluettelo. NORD Gear Oy, Aunankorvenkatu 7 FI-33840 Tampere. [Haettu 2016-01-26]. Saatavissa: https://www.nord.com//cms/fi/product_catalogue/product-catalogue.jsp

NORDAC trio SK 300E. Käsikirja. NORD Gear Oy, Aunankorvenkatu 7 FI-33840 Tampere. [Haettu 2016-01-29]. Saatavissa: https://www.nord.com/cms/media/documents/bw/BU0300_FI_0508.pdf

Nord verkkosivut. [Haettu 2016-03-23]. Saatavissa: https://www.nord.com/cms/fi/product_catalogue/geared_motors/parallel_shaft_geared_motors/pgop_parallel_shaft_geared_motors~1_1541.jsp

Rembe verkkosivut. [Haettu 2016-03-29]. Saatavissa: <http://www.rembe.com/products/explosion-safety/conventional-explosion-venting-with-explosion-vents/egv/>

ROTATING ELECTRICAL MACHINES – PART 1: Rating and performance. IEC 60034-1. Eleventh edition 2004-04. Geneve: International Electrotechnical Commission.

Seimec verkkosivut. [Haettu 2016-02-22]. Saatavissa: <http://www.seimec.fi>

SUUNNITTELUOHJEET. Fimecon Oy, Pirnankatu 2 B 78200 Varkaus.

VAIHDEMOOTTORIEN VALINTATAULUKKO. Fimecon Oy, Pirnankatu 2 B 78200 Varkaus.

Vem verkkosivut. Vaihteen valinta – moottori – taajuusmuuttaja. [Haettu 2016-02-15].

Saatavissa: http://www.vem.fi/userData/vem/downloads/vem-motors-fi/koulutusmateriaali/VEMoDrive_Vaihteen-valinta-moottori-taajuusmuuttaja-2013.pdf

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTI 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilaintosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Tilaajat: Ympäristöministeriö ja Energiateollisuus ry. [Haettu 2016-01-26]. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet

LIITE 1: KAAVAT

1.1 Teho ja vääntömomentti

$$P = \frac{M \cdot n}{\eta \cdot 9550}$$

$$M = 9550 \cdot \frac{P}{n}$$

P = teho [kW]

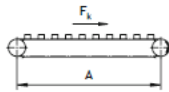
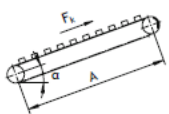
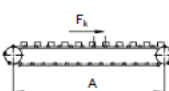
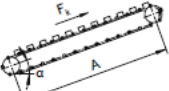
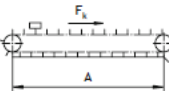
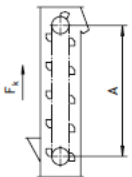
M = vääntömomentti [Nm]

n = pyörimisnopeus [1/min]

η = hyötysuhde [%]

Kaavat Nordin tuoteluettelosta.

1.2 Kolakuljettimen voimien laskenta

 <p>Liukukitka ilman rullia (vaaka)</p> $F_s = 1,1 (Q+2 \cdot G_1 \cdot A) \mu_1 \cdot 10$	 <p>Liukukitka ilman rullia (viisto)</p> $F_s = 1,1 [\cos \alpha (Q+2 \cdot G_1 \cdot A) \mu_1 + Q \sin \alpha] \cdot 10$
 <p>Vierintäkitka (C-, D- ja E-tyypit)</p> $F_s = 1,1 (Q+2 \cdot G_1 \cdot A) \mu_2 \cdot 10$	 <p>Vierintäkitka viisto (C-, D- ja E-tyypit)</p> $F_s = 1,1 [\cos \alpha (Q+2 \cdot G_1 \cdot A) \mu_2 + Q \sin \alpha] \cdot 10$
 <p>Raappaketjut</p> $F_s = 1,1 \cdot A (2 \cdot G_1 \cdot \mu_1 + G_2 \cdot \mu_3) \cdot 10$	 <p>Elevaattorit $F_s = 1,15 \cdot A (1,5 \cdot G_1 + G_2) \cdot 10$</p> <p>Elevaattorit $F_s = 1,15 \cdot A (1,5 \cdot G_1 + \frac{Q_h}{3,6 \cdot v}) \cdot 10$</p>

Lyhenteet ja suureet

Merkintä	Selite	Suure
F_s	Staatinen ketjuvoima	N
F_d	Dynaaminen ketjuvoima	N
F_{kok}	Kuljettimen kokonaisketjuvoima	N
n	Rinnakkaisten ketjujen määrä	kpl
F	$\frac{F_s}{n}$ eli ketjuvoima yhtä ketjua kohti	N
G_1	Rinnakkaisten ketjujen paino kolmeen	kg/m
G_2	Kuljetettavan tavarain paino	kg/m
Q	Kuljettimella olevan tavarain kokonaispaino	kg
Q_h	Kuljetusteho	t/h
A	Akseliväli	m
v	Ketjun nopeus	m/s

Kitkakertoimet

μ_1 Liukukitkakerroin	Kuiva	Voideltu
Teräspinnalla	0,3...0,4	0,25
Muovipinnalla	0,20	0,20

μ_2 Vierintävastus kulkurullilla	μ_2
Teräsrullat	0,15
Muovirullat	0,10
Kuulalaakeroidut rullat	0,05

μ_3 Kitkakerroin kuljetettavan aineen ja teräspohjan välillä	μ_3
Hake ja sahanpuru	0,40
Vilja	0,35
Sementti	0,65
Savi ja hiekka kuivana	0,60
Tuhka kuivana	0,50

Kaavat, kuvat ja taulukot Lapua-ketjut verkkosivuilta.

LIITE 2: DATA, LASKENTA JA VERTAILU

Liite 2 osa poistettu julkisesta materiaalista.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Syötettävät tiedot										
2	Vakio tiedot										
3	Välitulos										
4	Tulos										
5	Laskennallinen tieto										
6											
7	LÄHTÖTIEDOT										
8	Kattilan teho (MW)	100									
9	Kuljettimen leveys (m)	2									
10	L Kuljettimen pituus (m)	47									
11	Lv Vaakasuoran osan pituus (m)	34,8									
12	Nousevan osan kulma (°)	30									
13	Ketjupyörän jakohalkaisija (m)	0,6									
14	Ketjunopeus (m/s)	0,5									
15	VAKIOT										
16	Kitkakerroin ketju	0,2									
17	Kitkakerroin polttoaine	0,7									
18	Kattilan hyötysuhde	85,00 %									
19	Hake/Turve 50/50 tilavuus	0,7	MWh/ti-m³								
20	Hake/Turve 50/50 paino	400	kg/ti-m³								
21	VÄLITIEDOT										
22	Tarve	168,067	i-m³/h								
23	Tuotto annetulla ketjunopeudella	0	i-m³/h								
24	Nousevan osan pituus	14,0873	metriä								
25	Nousevan osan korkeus	7,04367	metriä								
26	Kuljetuskyky kerroin nouseva osa	0,62265									
27	Kuljetuskyky vaaka osa	#####	i-m³/tm								
28	Kuljetuskyky vaaka osa	0	kg/tm								
29	Kuljetuskyky nouseva osa	0	i-m³/tm								
30	Kuljetuskyky nouseva osa	0	kg/tm								
31	Kolaketjun massa kg/tm	#####	kg/tm								
32	Pyörimisnopeus ketjunop 0,35 m/s	0,26526	1/s								
33	Vaihteen välitys (annettu ketjunop)	94,2478									
34	Vaakasuoran osan voima	0	N								
35	Nousevan osan voima	0	N								
36	Kokonaisvoima	0	N								
37	LASKENNALLISET TARPEET										
38	Tarvittava ketjunopeus v	#####	m/s								
39	Tarvittava pyörimisnopeus	#####	1/s								
40	Vaihteen välitys (lasken. ketjunop)	#####									
41	TULOKSET										
42	Tarvittava vääntömomentti	0	Nm	Minimi vaihteenvääntömomentti							
43	Vaihteen toisio nopeus (annettu)	16	1/min	Annetulla (lähtötiedot) ketjunopeudella tarvittava toisionopeus							
44	Vaihteen toisio nopeus (laskettu)	####	1/min	Tarvittavalla(laskennalliset tarpeet) ketjunopeudella tarvittava toisionopeus							
45	Tarvittava teho 3-portainen vaihteisto, nopeus 0,35 m/s	0	kW	Annetulla (lähtötiedot) ketjunopeudella tarvittava teho							
46	Tarvittava teho 3-portainen vaihteisto, tarvittava nopeus	####	kW	Tarvittavalla(laskennalliset tarpeet) ketjunopeudella tarvittava teho							

Kuvankaappaus laskentamallista.